



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF ENERGY

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE

RENEWABLE ENERGY SOURCES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN MAŠEK

VEDOUcí PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Martin Mašek

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Obnovitelné zdroje energie

v anglickém jazyce:

Renewable Energy Source

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obnovitelné zdroje energie v ČR s důrazem na využití větrné energie

Cíle bakalářské práce:

Popis využití obnovitelných zdrojů energie zejména v ČR

Větrné elektrárny - typy, provozní a technické údaje

Popis elektrárny v konkrétní lokalitě

Seznam odborné literatury:

Kolektiv: Obnovitelné Zdroje energie, FCC -PUBLIC, Praha 2004

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 14.10.2010

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty



ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá popisem a využití obnovitelných zdrojů energie v České republice. Úvodem jsou charakterizované jednotlivé obnovitelné zdroje energie a jejich dnešní využití. V hlavní části práce se podrobněji věnuji větrné energii, zejména technickým popisem větrné elektrárny. Zbývající část práce obsahuje popis malé funkční větrné elektrárny a její ekonomickou analýzu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Voda, slunce, biomasa, tepelná čerpadla, bioplyn, vítr, obnovitelné zdroje energie, větrná elektrárna

ABSTRACT

My bachelor's thesis deals with description and use of renewable energy resources in the Czech Republic. At the beginning of my thesis I characterize individual renewable energy resources and its today's use. In the main part of the thesis I focus on wind energy in more details, especially technical description of the wind power plant. In the end of my thesis there is a description of the small workable wind power plant and its economic analysis.

KEYWORDS

Water, sun, biomass, heat pumps, biogas, wind, renewable energy sources, wind power plant



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MAŠEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 33 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Jana Fiedlera, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 15. května 2011

.....

Jméno a přímení



PODĚKOVÁNÍ

Poděkování patří doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr., který mi svými odbornými znalostmi, vstřícností a ochotou umožnil vypracovat tuto bakalářskou práci a také chci poděkovat panu Petru Slezákovi za věnovaný čas při získání informací o jeho větrné elektrárně v Horních Loučkách.

OBSAH

Úvod	9
1 Vodní energie	11
2 Sluneční energie	12
3 Energie z biomasy	14
4 Energie z bioplynu	15
5 Tepelná čerpadla	15
6 Větrná energie	17
6.1 Historie	17
6.2 Vítr	18
6.3 Rozdělení větrných motorů	18
6.4 Základní části větrné elektrárny	20
6.4.1 Rotor	20
6.4.2 Strojovna	21
6.4.3 Stožár	22
6.4.4 Základ	22
6.5 Výkon	23
6.6 Výkupní ceny	23
6.7 Budoucnost	23
7 Větrná elektrárna v Horních Loučkách	24
7.1 Povolení, jednání a stavba	24
7.2 Použitý typ Windtower WT10P	25
7.3 Provoz a návratnost investic	27
Závěr	30
Seznam použitých zdrojů	31
Seznam použitých zkratk a symbolů	33
Seznam použitých veličin	33

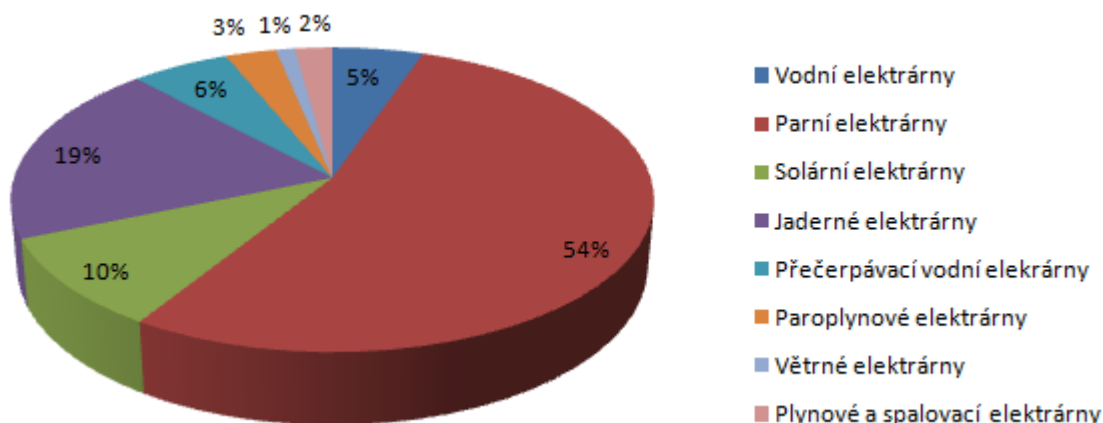
ÚVOD

Žijeme v době, kdy je energie pro nás nepostradatelnou součástí života. Nezáleží, zda je ve formě tepla a vytápí byty či domy nebo jestli je ve formě stále častěji využívané elektrické energie. Energii jsme pro život potřebovali, potřebujeme a ještě ve větší míře potřebovat budeme.

Zatím se většina energie vyrábí z ropy, zemního plynu a uhlí. Jsou to však zdroje vyčerpatelné, navíc škodí našemu životnímu prostředí a zvyšují podíl skleníkových plynů, které mají za následek globální oteplování. Nabízí se tak otázka, jak tyto zdroje nahradit a zároveň neškodit životnímu prostředí. Naštěstí máme k dispozici několik variant.

Tou první jsou jaderné elektrárny. Někdo je za čistý zdroj energie považuje, neboť jen z malé kostičky obohaceného uranu lze vyrobit mnohonásobně více energie než jiným zdrojem a zároveň neznečišťují životní prostředí. Někdo je považuje za stejně významné, jako ostatní energetické suroviny, protože po štěpné reakci zůstane radioaktivní odpad, který se musí ukládat do podzemních úložišť. Je pravdou, že problémem je také nedostatek uranu a jeho odpad, ale v budoucnu je možné tzv. jadernou fúzí tento odpad, který v sobě skrývá odhadem 95 % nevyužité energie, opět využít. Vyřešili by se tak všechny problémy na dostatečně dlouhou dobu. Nikdo si však není jist, kdy to bude, a proto je nutné hledat i jiné varianty.

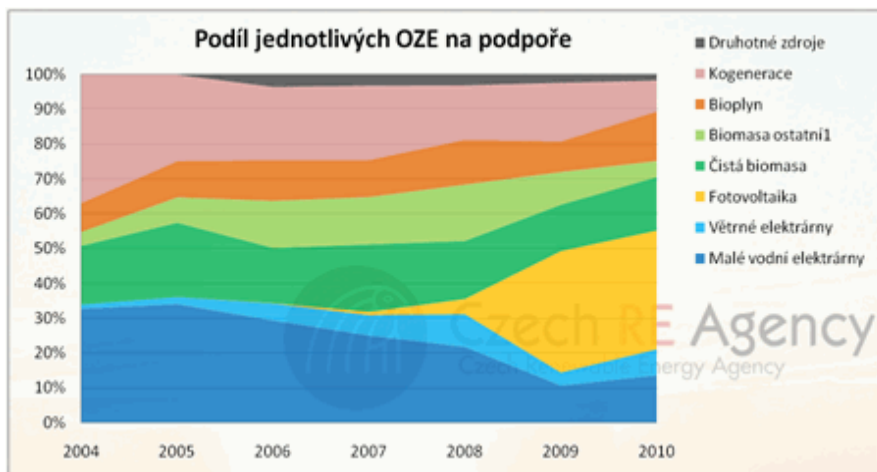
Další možností jsou obnovitelné zdroje energie. Představují speciální skupinu, která využívá téměř nekonečné množství energie a zároveň nemá žádný negativní vliv na životní prostředí. Mezi ně patří v největší míře slunce, vítr, voda a biomasa. Každý z nich má však své výhody a nevýhody a každý se hodí do jiných oblastí Země. Na otázku, proč se tedy nevyužívají více, je jednoduchá odpověď. Stále se mnohem více vyplatí vyrábět elektřinu z vyčerpatelných zdrojů energie a tento ekonomický faktor hraje a bude hrát důležitou roli až do doby, kdy se vyčerpají všechny neobnovitelné energetické suroviny. Podíl jednotlivých elektráren v ČR znázorňuje Graf 1.



Graf 1: Podíl instalovaného výkonu v elektrárenských soustavách ČR (k 31. 12. 2010) [5]

Stále parní (tepelné) elektrárny zaujímají významnou část výroby elektřiny v ČR. Naštěstí se však vývoj ubírá k rozvoji a zvyšování podílu obnovitelných zdrojů energie na výrobě elektřiny. V roce 2010 byl tento podíl v ČR přes 8,51 %, přičemž závazek vůči Evropské unii na rok 2010 činil 8 % a předpokládá se další nárůst. Závazek na rok 2020 je 13 % [8].

Problémem v ČR je otázka, jaký obnovitelný zdroj energie zvolit, aby byl pro nás ten nejužitečnější a nejvýhodnější. Nejsou zde totiž nejlepší podmínky ani pro jeden ze způsobů. Proto je nutné všechny tyto OZE vhodně zkombinovat tak, aby se jako celek významně podíleli na výrobě energie. Na Grafu 2 vidíme nynější podíl všech OZE.



Graf 2: Podíl jednotlivých obnovitelných zdrojů na podpoře výroby elektřiny [6]

Ve své práci bych proto chtěl popsat základní OZE a jejich využití. Nejvíce se však zaměřím na větrnou energetiku a jedno snadné využití energie větru v malé vesnici Horní Loučky.

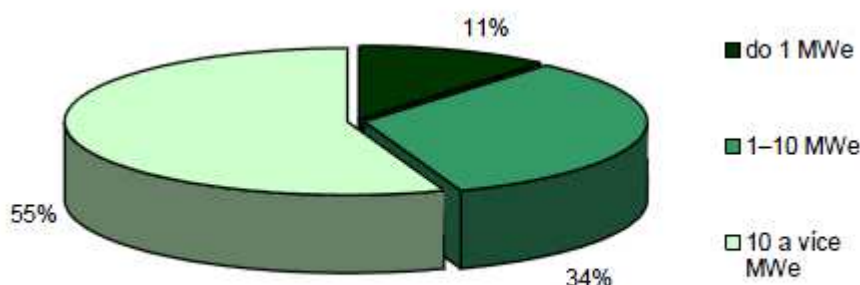
1 VODNÍ ENERGIE

V ČR má vodní energie dlouholetou tradici. První vybudovaná vodní elektrárna se datuje od roku 1888, postavená v Písku.

U tohoto obnovitelného zdroje energie je podstatné rozdělení. Dělí se na 2 základní skupiny, malé vodní elektrárny s výkonem do 10 MW a velké vodní elektrárny s výkonem nad 10 MW. Podle EU se zařízení nad 10 MW mezi obnovitelné zdroje nepočítá, ale jsou významné jak pro výrobu elektřiny v ČR (instalovaný výkon přes 1 GW_e, asi 8 % z celkového instalovaného výkonu zdrojů pro výrobu energie), tak i pro zachování životního prostředí. Z hlediska OZE mají na výrobě elektřiny u nás stále největší podíl, přes 52 % výroby [3].

Z pohledu VVE naše toky sice nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody, ale i tak nám výborně slouží jako doplňkový zdroj výroby elektrické energie. Mají navíc velkou výhodu v tom, že umožňují najet na velký výkon a tím operativně vyrovnat okamžité energetické bilance v elektrizační soustavě ČR. Výstavba VVE však není dále reálná, neboť u nás již nejsou příznivé podmínky. Mezi největší postavené VVE patří Orlík se svoji výrobou 474,4 GW·h za rok 2009, Slapy (360,8 GW·h) a Lipno I (146,9 GW·h). Pro srovnání uvádím hrubou výrobu elektřiny ve vodních elektrárnách, která v roce 2010 dosáhla 3366 GW·h [3], [19].

Potenciál vodních elektráren, který tvoří desetinu v současnosti využívaného výkonu, se v ČR dnes týká jen malých vodních elektráren, jež jsou charakterizované do výkonu 10 MW. Lze je ještě dále rozdělit na MVE do výkonu 1 MW_e a na MVE o výkonu 1-10 MW_e. Podíl výkonových kategorií VE na výrobě elektřiny je uveden v Grafu 3.



Graf 3: Podíl výkonových kategorií VE na hrubé výrobě elektřiny [3]

Jednou z možností, jak zvýšit přísun energie z vodních zdrojů, jsou již zmíněné malé vodní elektrárny. Řešení je jak v jejich výstavbě (cca 100 MW potenciálního výkonu), tak také v rekonstrukci, neboť více než 60 % těchto elektráren obsahuje zastaralou technologii, která se s tou moderní liší nižší účinností (až 15 %) [1].

Další možností je využití retenčních nádrží a rybníků, kde se využívá vhodného rozdílu hladin s málo se měnícím spádem, nebo využití vodárenských objektů (využívány jako zásobárny pitné nebo užitkové vody), kde lze získat konstantní vysoké spády s průtoky bez větších změn [1].



2 SLUNEČNÍ ENERGIE

Využití sluneční energie lze rozdělit na dva základní systémy její přeměny.

Prvním systémem je **fototermální přeměna**. Při této přeměně jde o to, aby se viditelné záření přeměnilo na teplo. Děje se tak ve speciálních zařízeních k tomu určených a navrhnutých. Nazývají se kolektory slunečního záření.

Druhým systémem je **fotovoltaický systém**. Při této přeměně jde naopak o to, aby se sluneční záření přeměnilo na elektrickou energii. Tento systém tak představuje zapojení několika fotovoltaických součástek do řetězce [2].

Rozlišujeme několik základních druhů fotovoltaických systémů a jejich aplikace:
Systémy nezávislé na rozvodné síti (grid-off), tzv. ostrovní systémy

Tyto systémy se staví na místech vzdálených od rozvodu elektrické sítě, kde není výhodné budovat přípojku. Dělí se na 3 základní druhy:

- systémy s přímým napájením - vystačí nepravidelný přísun elektrické energie při svitu slunce (např. čerpání vody pro závlahu, napájení ventilátorů, nabíjení akumulátorů malých přístrojů atd.),
- systémy s akumulací elektrické energie - je nutná spotřeba elektrické energie, i když slunce nesvítí (např. zdroj elektrické energie pro chaty nebo domy, veřejné osvětlení, napájení dopravní signalizace atd.),
- hybridní ostrovní systémy - nutný celoroční provoz s vysokým zatížením, často je tento zdroj doplněn pomocnými generátory, větrnou nebo vodní elektrárnou atd.).

Síťové fotovoltaické systémy (grid on)

V oblastech s hustou elektrorozvodnou sítí. Systém má fotovoltaické pole a měnič nízkého napětí. Pro vysokonapěťové systémy se používají transformátory, výkonné spínače a ochranné prvky. Výkon se pohybuje v kW až MW [1].

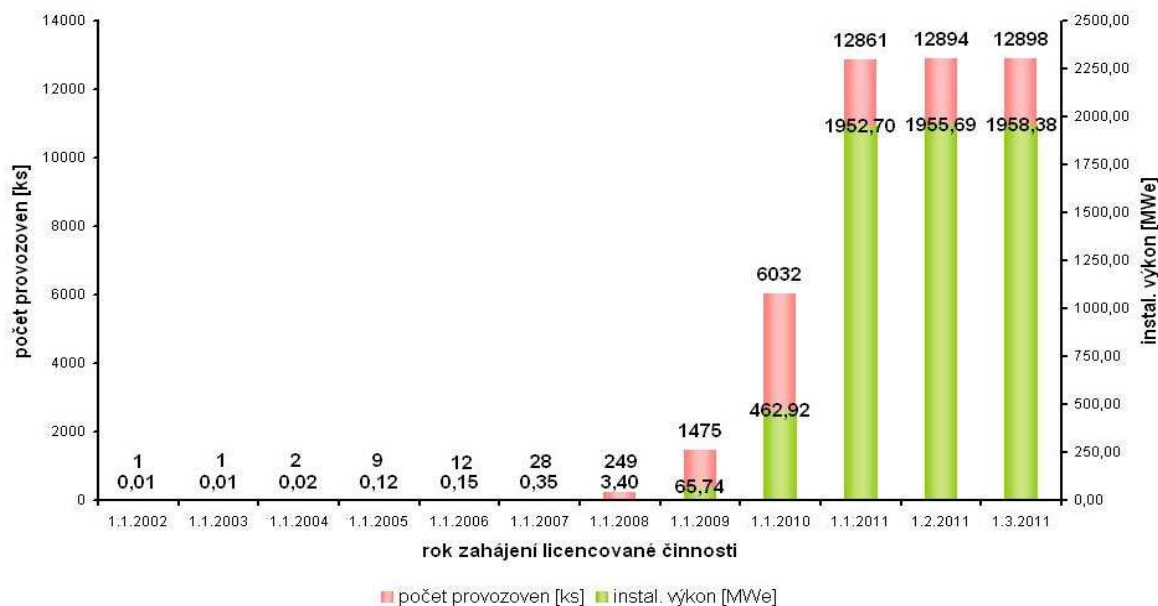
Ekonomická návratnost solárních panelů s životností přes 30 let se pohybuje kolem 3 let, u lepších 2 roky a jejich účinnost se pohybuje v průměru kolem 20-25 %. Řeší se problém akumulace elektrické energie získané přímou přeměnou slunečního záření. Jedním z řešení je systém výroby vodíku (elektrolýza), jeho skladování a zpracování [1].

Fotovoltaické systémy jsou v ČR využívány mimo velké elektrárny různými způsoby. Většinou se jedno-panelové systémy montují na chaty (výkon 10-100 W). Ve městech se instalují menší např. na parkovací automaty, v terénu na různá měřicí zařízení a jsou vybudovány i větší zařízení na střeších některých budov (3-20 kW) [1], [2].

V roce 2003 byla zaznamenána podpora této energie. Státní fond poskytuje dotace 30 % na výstavbu, která je podpořena výkupní cenou ve výši 6 Kč/kW·h. Do konce roku 2010 se počet slunečních elektráren téměř zčtyřnásobil díky více jak zdvojnásobené výkupní ceně a výkon tak stoupl na 1853 MW (rok 2009 činil 463 MW). Z tohoto důvodu vláda snížila výkupní ceny pro tyto elektrárny postavené v lednu 2011 na polovinu (z 12,6 Kč/kW·h na 5,5 Kč/kW·h). Můžeme si dnešní vývoj porovnat s plánem Evropské unie, který byl v roce 2001 pro ČR vyměřen. V roce 2010 měl instalovaný výkon dosahovat hodnot 84 MW a v roce 2020 541 MW [1], [7].



Obrovský nárůst počtu provozoven slunečních elektráren je patrný na Grafu 4.



Graf 4: Stav počtu slunečních elektráren a instalovaných výkonů k 1. 3. 2011 [9]

V budoucnu by solární panely mohly být součástí střech a fasád, protihlukových bariér podél dálnic a železnic, střech vlakových a autobusových nádraží, parkovišť či sportovních areálů. Záporným faktem však stále zůstává nestabilita sluneční energie, která je dána střídáním denních dob, ročních období a proměnlivostí počasí. Další nevýhoda je plocha, kterou zabírá při potřebném výkonu. Pro srovnání: 1 GW elektrické energie ze sluneční elektrárny získáme při dnešních technologiích z 86 km² plochy, zatímco tuto energii lze získat z jaderné elektrárny, kde by to představovalo 0,3 km² [1], [2].

3 ENERGIE Z BIOMASY

Biomasa je organická hmota rostlinného původu vznikající působením slunečního záření. Lze také říci, že biomasa je směs biologického původu, která obsahuje rostlinou a živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Jejich energetickým využíváním se rozumí spalování dřevní nebo rostlinné hmoty za účelem výroby elektřiny a tepla (lze kombinovat i s fosilními palivy) [2].

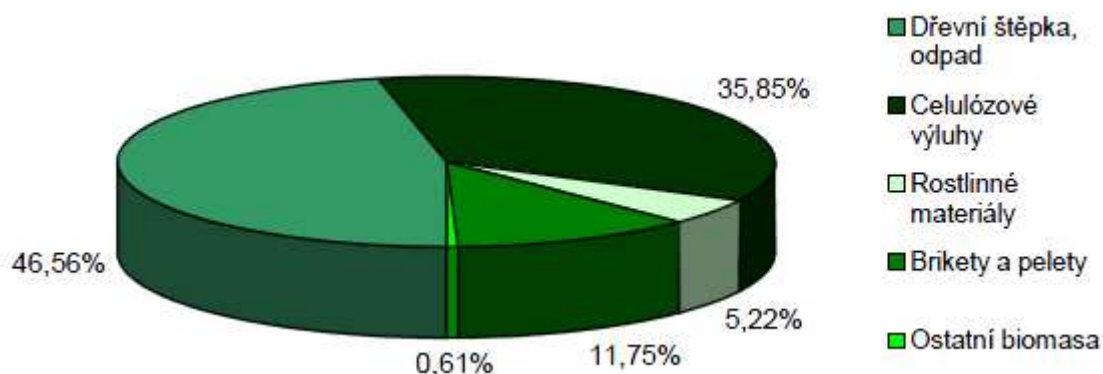
Podíl biomasy na výrobě elektrické energie z hlediska OZE tvoří 30 % (vyrobena 1396 GW·h elektřiny v roce 2009) a stále roste. V současné době je 55 % elektrické energie dodáváno do sítě, zbytek je využit na vlastní spotřebu [3].

Mezi hlavní výhody a nevýhody tohoto energetického zdroje patří:

- Palivo na bázi biomasy neobsahuje téměř žádnou síru a oproti fosilním palivům jsou škodliviny v emisích příznivější,
- využití půdy nepotřebné nebo nežádoucí pro výrobu potravin k pěstování energetických rostlin na výrobu fytopaliv,
- pro přípravu fytopaliv je možné využít různé rostlinné a dřevní zbytky nebo odpady,
- nižší energetická hustota (problém při dopravě, skladování) a často vyšší obsah vody (nižší výkonnost a spalování),
- speciální kotle a jejich vyšší cena,
- v ČR je stále i přes zavedené dotace výhodnější energie z fosilních paliv, které zatím nedokáže ve větším měřítku konkurovat [1], [2].

Pro pěstování na volných půdách, zejména na svazích v horských a podhorských oblastech, na zaplavovaných, problémových nebo v chráněných oblastech se používají rychle rostoucí dřeviny. Žádné vyhraněné nároky na stanoviště nemají ani rostliny bylinného charakteru. V oblasti ČR je nutno zmínit asi nejperspektivnější plodinu, šťovík energetický – Uteuša (spalné teplo až 19 MJ/kg) [1].

Pro vytápění rodinných domků je nutná standardizace biopaliv, jejich briketování a peletizace. Biomasu lze kombinovat i s uhlím (především dřevinné piliny), nebo z ní anaerobní digestací vyrobit bioplyn obsahující metan (14 až 27 MJ/m³) a ten následně spálit. Nejčastější využití biomasy je výroba tepla spalováním v kotlích (zejména dřeva). Jednotlivý podíl druhů biomasy na výrobě elektřiny znázorňuje Graf 5 [1].



Graf 5: Podíl jednotlivých druhů biomasy na výrobě elektřiny v roce 2009 [3]



Mezi naše největší elektrárny spalující biomasu patří elektrárna v Hodoníně se svoji výrobou 197,9 GW·h za rok 2010, v Poříčí (87,4 GW·h) a v Tisové (12,7 GW·h). V Hodoníně je jeden blok, který spaluje čistou biomasu, o výkonu 30 MW a denně si vyžádá 1600 tun biomasy [4].

Do nových přístupů a technologií se řadí např. spalovací mikroturbína a kogenerační zařízení na bázi palivového článku nebo Stirlingova motoru [1].

4 ENERGIE Z BIOPLYNU

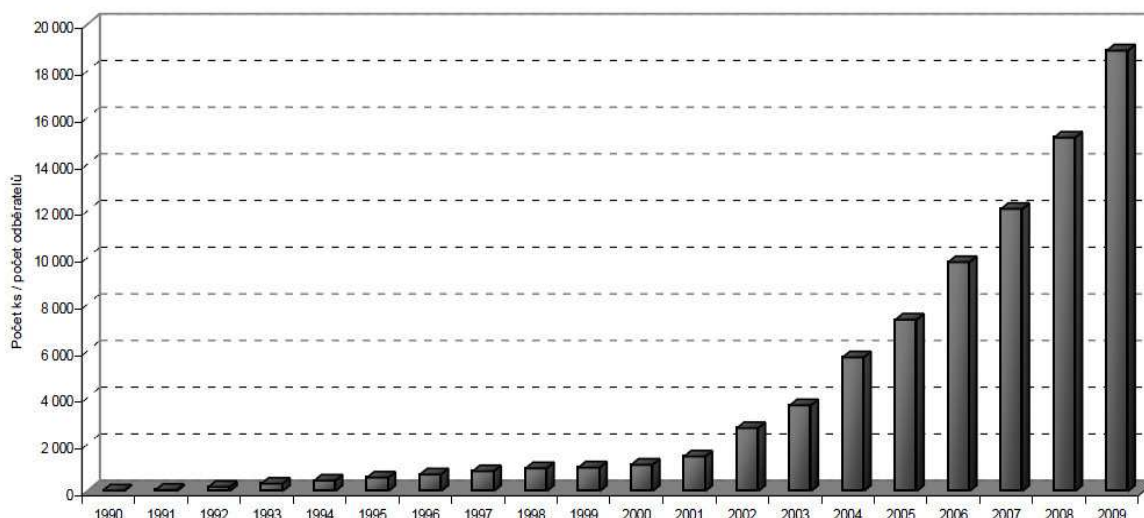
Původně byla energie bioplynu využívána pro vlastní potřebu provozu v komunálních čistíčkách odpadních vod. Dnes je však patrný vysoký nárůst výroby v kvalitně realizovaných bioplynových stanicích. Princip činnosti těchto zařízení spočívá ve zpracování široké škály materiálů nebo odpadů organického původu prostřednictvím anaerobní digesce v uzavřených reaktorech. Zde vzniká bioplyn, který slouží k výrobě tepla a elektřiny. V roce 2009 se zvýšil počet těchto zařízení a instalovaný výkon dosahuje hodnoty 96 MW (roční výroba elektřiny je 440 GW·h).

V porovnání podílu jednotlivých kategorií bioplynu na výrobě elektřiny mají největší zastoupení bioplynové stanice (59 %), skládkový plyn (22 %), komunální ČOV (18 %) a zbytek doplňují průmyslové ČOV (1 %).

Potenciál využití bioplynu z komunálních čistíren a odpadních vod je již vyčerpán, předpokládá se konstantní nárůst pouze u bioplynových stanic [3].

5 TEPELNÁ ČERPADLA

Princip funkčnosti tohoto zařízení je obdobný jako domácí chladnička. Pouze se odlišuje v tom, že na rozdíl od chladničky, která odebírá teplo potravinám uvnitř a ohřívá kuchyni, tepelné čerpadlo odebírá teplo okolnímu prostředí (okolí domu, podzemní či povrchové vody, půdě atd.) a ohřívá vnitřní prostory domu. Je však výhodné mít dům zateplený. Využití stále roste, dokládá to Graf 6 [2].



Graf 6: Hrubý vývoj počtu tepelných čerpadel [17]



ČINNOST TEPELNÉHO ČERPADLA

Chladivo ve výparníku při nízkém tlaku odebere ochlazované látce (okolní prostředí – nízká teplota) teplo, následně dojde k varu a kapalně chladivo, které je ve výparníku, se postupně přemění v páru. Z výparníku jsou páry odsáty, dále stlačeny na kondenzační tlak a nakonec v kondenzátoru předají kondenzační teplo ohřívané látce (vytápěné prostory), a tím se jejich skupenství opět změní na kapalně. Po snížení tlaku kapalněho chladiva je opět přivedeno do výparníku, kde doplní vypařené chladivo. Cyklus se pak opakuje.

Rozlišují se 3 základní druhy tepelných čerpadel:

- kompresorová – nejpoužívanější, motor kompresoru (pístový, rotační) lze pohánět různými způsoby, nejčastěji však elektřinou,
- absorpční – zřídka používané
- hybridní – na zakázku

Možnosti využití tepelného čerpadla např. v kancelářských prostorách, založené na principu vzduch/vzduch. Lze využít nejen v zimě jako přínos tepla, ale i v létě jako chladicí zařízení (umožňuje to tzv. reverzní chod).

V zemědělství chlazení mléka může ohřívát teplou užitkovou vodu, v průmyslu využití obou kombinací, chlazení i ohřívání užitkové vody [2], [17].



6 VĚTRNÁ ENERGIE

Jako všechny již zmíněné obnovitelné zdroje energie i energie větru má své důležité postavení při výrobě tzv. čisté energie. Stává se tak středem pozornosti mnoha lidí, kterým se tento způsob výroby líbí, avšak je stále spousta lidí, kterým se větrná elektrárna nezamlouvá, protože je hluchá nebo kazí ráz krajiny. Mně osobně se tato výroba energie líbí a rád bych se jí teď věnoval a co nejlépe charakterizoval.

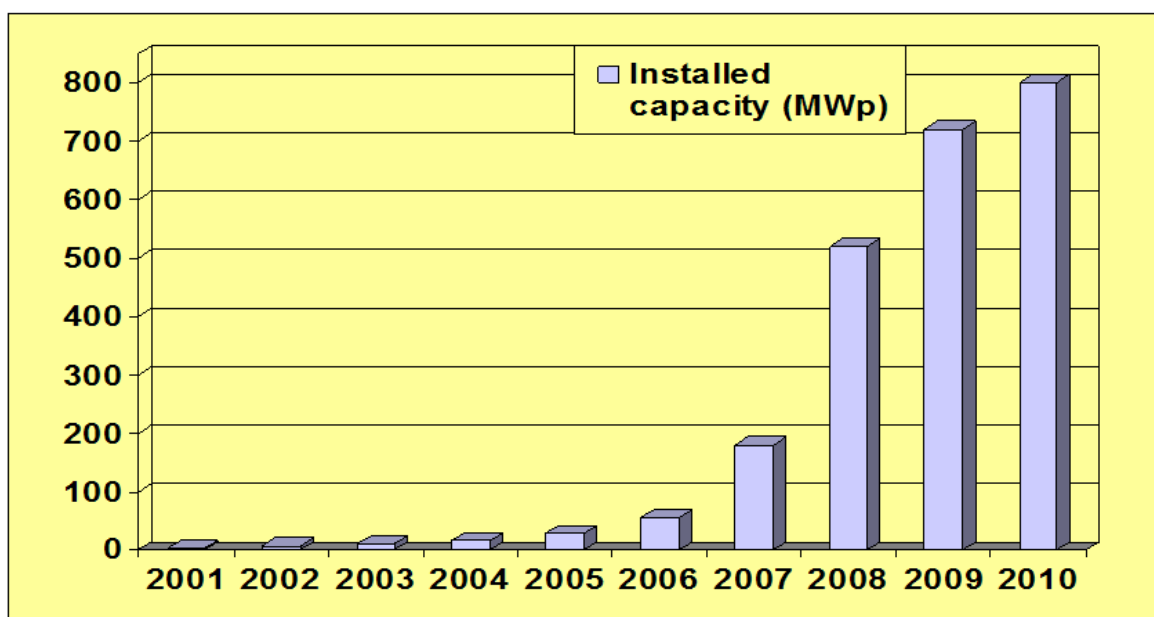
6.1 HISTORIE

Lze říci, že využití větrné energie na výrobu elektrické energie je sice velmi mladá technická oblast, ale samotné využívání energie větru bylo praktikováno již mnohem dříve. Využívány byly větrné mlýny na mletí mouky, čerpání vody a dodnes je stále užitečný jako pohon plachetnic.

Největší zájem však byl zaznamenán na počátku 70. let minulého století po 1. ropné krizi. V tomto období si průmyslová společnost začala uvědomovat hrozby vyčerpání obnovitelných zdrojů energie v globálním rozsahu. Mezi první, kdo započal rozvoj a stavbu větrných elektráren, patřilo USA, Dánsko a Německo.

V ČR začala výroba větrných elektráren na rozmezí 80. a 90. let minulého století. Jedním z průkopníků byl závod Mostárny ve Frýdku-Místku, který byl součástí Vítkovických železáren. Ten pak následovně dal impuls ke vzniku dalších společností. Bohužel díky nízké výkupní ceně elektrické energie a nemožné certifikaci pro export tyto společnosti zanikly. Pro nezájem státních orgánů jsme po roce 1995 přišli o prvenství před Rakouskem v instalovaném výkonu větrných elektráren a došlo k dlouhodobější stagnaci.

K průlomů došlo na přelomu roku 2003, kdy se počet elektráren začal pozvolna zvyšovat. V roce 2010 ČR vyrobila 335,6 GW·h větrné elektřiny ročně, řádově desetiný procenta svého potenciálu. Na grafu 7 je vidět vývoj růstu instalovaného výkonu větrných elektráren. [1], [10]

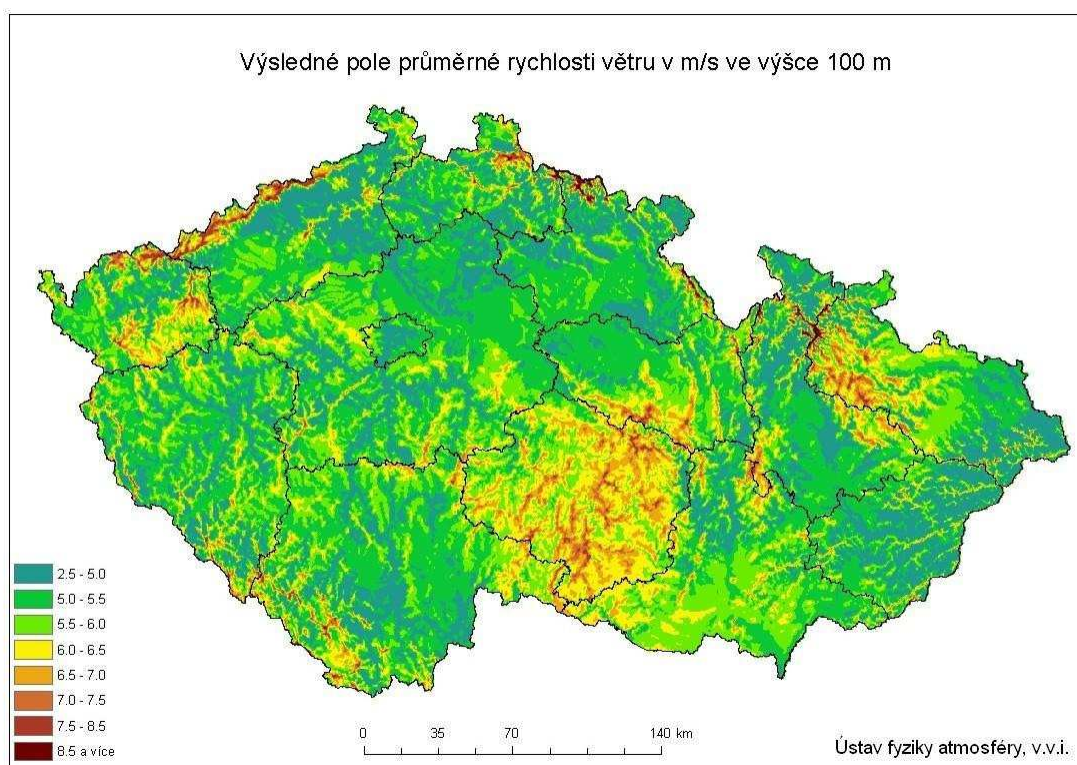


Graf 7: Instalovaný výkon větrných elektráren během posledních deseti let [14]

6.2 VÍTR

Vítr vzniká v místech, kde je třeba vyrovnat tlakové rozdíly mezi tlakovou níží a výší. Tyto níže a výše se vytvoří za působení slunečního záření, které ohřívá nerovnoměrně zemský povrch a od něj se ohřívá i vrstva vzduchu, která je následně lehčí než vzduch studený a stoupá nahoru. Vzniká vítr, který vane vždy od tlakové výše k tlakové níži. Vliv rotace určí větru konečnou podobu tvaru spirály. Nad pevninou vzniká vítr nestálý, nad mořem nebo pobřežím je vítr většinou vždy stálý.

Abychom mohli postavit větrnou elektrárnu, je důležité znát intenzitu větru. Tu získáme jen dlouhodobým měřením rychlosti větru v dané lokalitě. Aby se nám stavba vyplatila, musí být změřená průměrná rychlost větru za rok minimálně $4,8 \text{ m.s}^{-1}$. V ČR těchto míst moc není, nachází se převážně v horských oblastech. Větrná mapa je na Obr. 1. [1], [2]



Obr. 1: Větrná mapa ČR [12]

6.3 ROZDĚLENÍ VĚTRNÝCH MOTORŮ

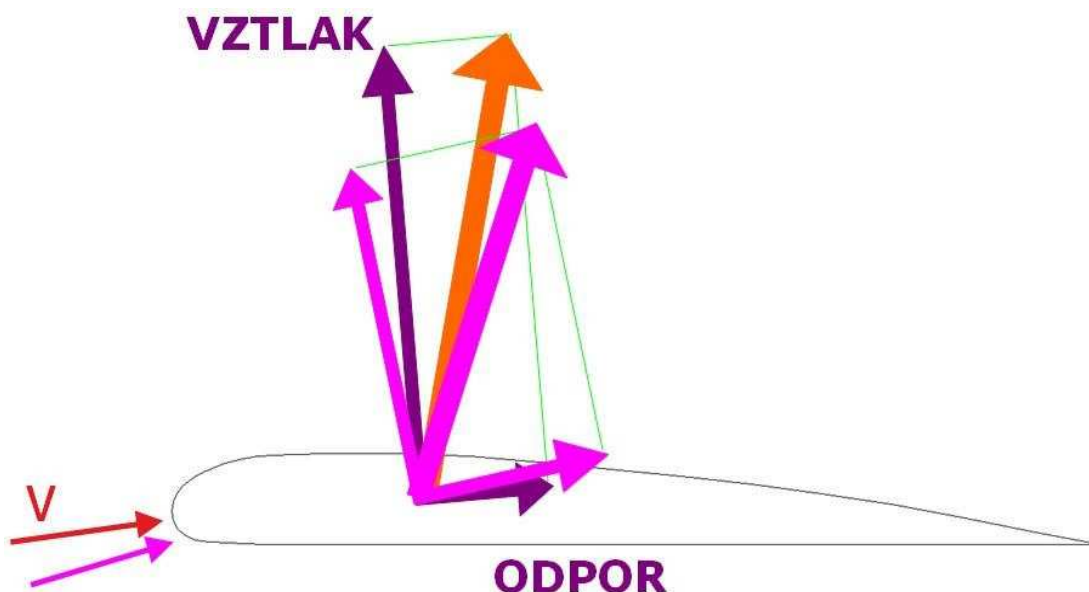
Podle principu práce nebo vzniku sil na lopatce větrného motoru rozlišujeme dva základní typy motorů:

- 1) Typ odporový - jedná o tzv. mističkovité lopatky pracující na odporovém principu. Nevýhodou je nízká účinnost.
- 2) Typ vztlakový - jsou zde lopatky ve tvaru křídla využívající vztlakovou sílu jako sílu hnací. Disponují mnohem vyšší účinností, až desetinásobek.

Podle směru osy rotace:

- 1) Typ vrtulový – osa rotace je přibližně horizontální a ve směru rychlosti větru
- 2) Typ rotorový – osa rotace vertikální a kolmá na směr větru

Nejčastěji používaným a viděným typem je typ vrtulový. Vztahy pro výpočet působících sil a složek jsou založené na výpočtech leteckých vrtulí, mají pouze opačná znaménka. Schéma rozložení sil na listu vrtule je na Obr. 2. Z obrázku je také vidět, že při malé změně úhlu směru větru (světe fialová) se změní směr i velikost vztlakové síly.



Obr. 2: Řez listu se složkami působících sil [10]

Podle výkonu rozlišujeme:

1) Malé větrné elektrárny

Obsahují turbíny s výkonem menším než 40 kW. Staví se u rodinných nebo rekreačních domků a slouží pro vlastní výrobu elektřiny, vytápění, ohřev vody atd., nebo pro prodej elektrické energie do rozvodné sítě.

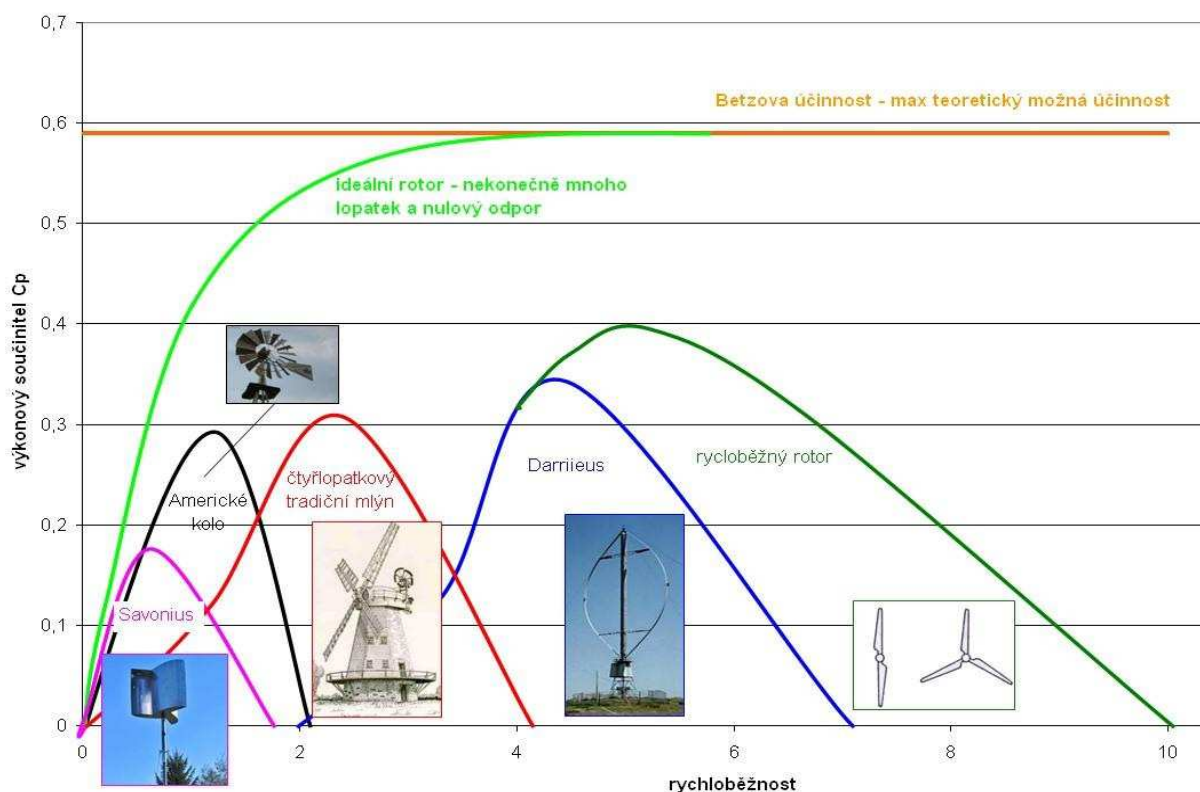
2) Velké větrné elektrárny

Budují se za účelem podnikatelského záměru. Vyrobená elektrická energie se prodává do rozvodných sítí za určenou výkupní cenu. Investice jsou mnohdy velice vysoké, nutná je často půjčka z banky. Návratnost investic je asi 8,5 až 14 let při životnost asi 20 let. [2], [10]

6.4 ZÁKLADNÍ ČÁSTI VĚTRNÉ ELEKTRÁRNY

6.4.1 ROTOR

Počet listů rotoru větrné elektrárny závisí na tzv. koeficientu rychloběžnosti rotoru λ (s menší hodnotou λ je zapotřebí pokrýt větší plochu kruhu rotoru rotorovými listy). Z Grafu 8 je vidět závislost výkonového součinitele na rychloběžnosti [10].



Graf 8: Rozdělení rotorů větrných elektráren dle rychloběžnosti rotorů [10]

REGULACE VÝKONU VRTULE

Při vysokých rychlostech větru může dojít k poškození elektrárny, proto existují 2 základní regulační systémy, „stall“ a „pitch“.

„Pitch“ regulace je aktivní systém, který mění úhel nastavení listů proti směru proudění vždy, když dostane signál o překročení výkonu generátoru. Zajišťuje tak kontrolu výkonu v celém rozsahu rychlosti větru. Tento systém je více využíván oproti regulaci „stall“ hlavně u větrných elektráren velkých výkonů (nad 1 MW).

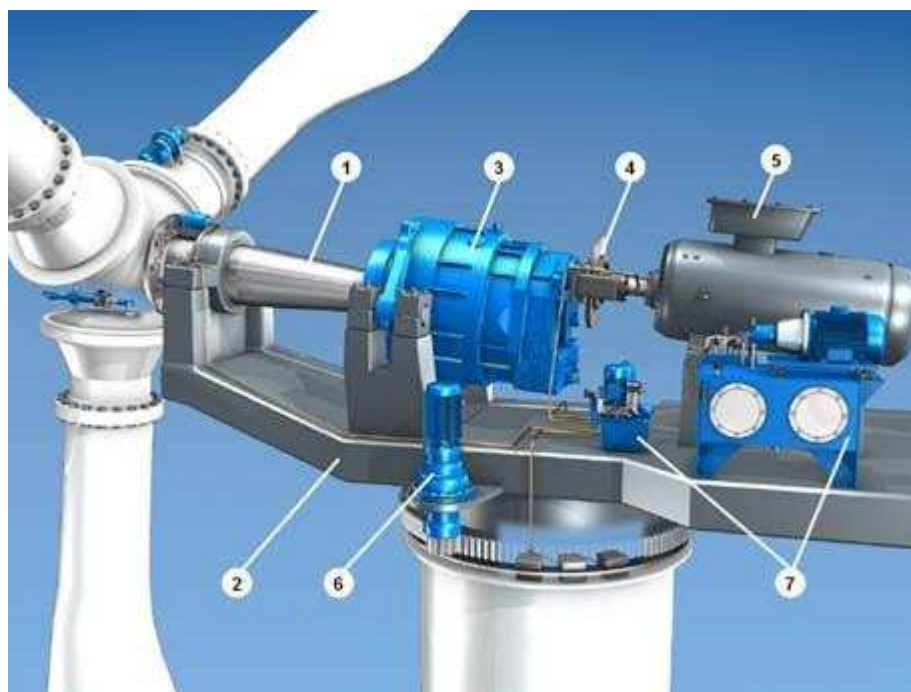
„Stall“ regulace je u rotorů, které mají pevně nastavené listy s autoregulací výkonu. Výhodou oproti „pitch“ regulacím je jednoduchá konstrukce a snadnější údržba.

V posledních letech se uplatňuje kombinace obou systémů, nazývaná „aktivní stall“.[1], [10]

6.4.2 STROJOVNA

USPOŘÁDÁNÍ

Každý výrobce má různé varianty strojoven a v nich uspořádaných částí v soustrojí. Na obrázku Obr. 3 je zobrazena jedna z nejčastějších variant reprezentující firmu Siemens. Rotor je umístěn na hřídeli (1), která přenáší výkon do převodovky (3). Spojení mezi převodovkou a generátorem (4) pohání generátor (5) za zvýšených otáček z převodovky. Jsou zde i hydraulické systémy (7) a systém natáčení strojovny (6). Celé soustrojí je umístěno na nosném rámu strojovny (2). [10]



Obr. 3: Zjednodušený náčrt strojovny větrné elektrárny firmy Siemens [10]

PŘEVODOVKA

Vyrábí se i větrné elektrárny bez převodovky. Systém bez převodovky je založen na využití nízkorychlostních multipólových generátorů. Mají však velké rozměry, které můžou způsobit problém při přepravě. Není však potřeba některých strojních součástí, zmenší se gondola a je i jednodušší údržba. Je však nepravděpodobné, že by vytlačili z trhu systémy s převodovkami, neboť současné převodovky mají životnost 20 let, výměna olejů není častá, transport a montáž je snadná a navíc klesla i jejich hlučnost. [10]

6.4.3 STOŽÁR

Existují tři základní druhy stožárů větrných elektráren.

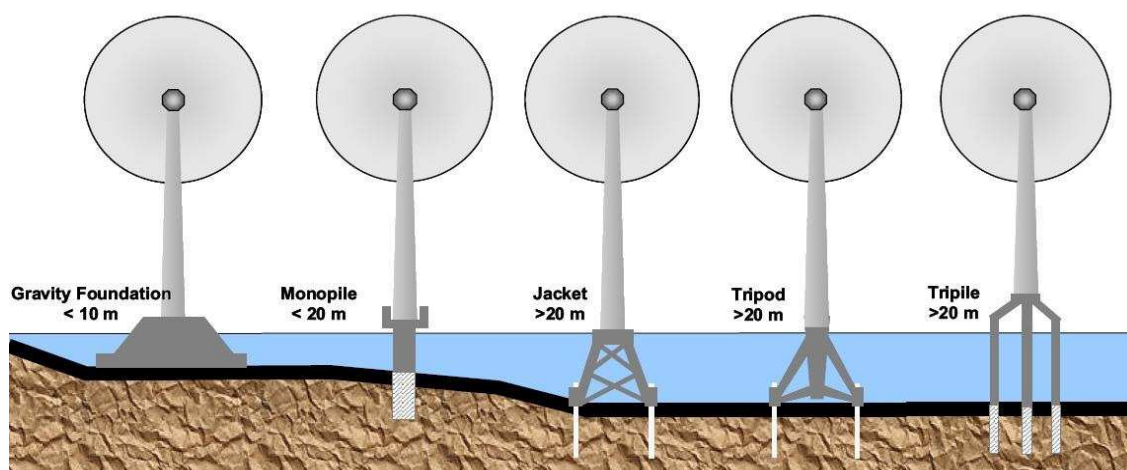
První typem, v Evropě nejčastěji instalován, je ocelový tubusový stožár. Je tvořen segmenty o délce 20 m vyrobených z ocelových plátů, které jsou skruženy do prstenců a následně k sobě svařeny.

Lepších vlastností dosahuje příhradový stožár. Tvarem a konstrukcí je stejný jako stožáry vysokého napětí. Přeprava a montáž je jednodušší, díky pozinkování není potřeba nátěr. Výhodou je menší množství oceli a menší zabraná plocha na stavbu základů. Využívá se při stavbě stožárů vyšších jak 100 m.

Třetím a také v poslední době rozvíjejícím typem je betonový stožár. Je tvořen betonovými poloskružemi, které se vyrobí v betonárce a na místě pak spojí do skruží. Pevnost je zajištěna předepjatými lany, které jsou vedeny dutinami ve skružích od paty stožáru až k jeho vrcholu. Výhodou oproti ocelovým stožárům je lehčí výsledná hmotnost, snadnější přeprava, neomezenost výšky, velmi vysoká životnost a skoro žádná údržba, navíc tlumí lépe vibrace a tím snižuje hlučnost elektrárny a zvyšuje životnost rotoru. [10]

6.4.4 ZÁKLAD

Pro stavbu základu je velice důležité provést důkladný geologický průzkum. Zjistí se stabilita prostředí ve spodních vrstvách zeminy. Rozměr základu pro 2 MW elektrárnu je zhruba 16 x 16 x 2 m, což je hmotnost i s hustou ocelovou armovací výztuží asi 1200 tun. Větrné elektrárny se čím dál častěji staví v pobřeží moří, kde je stálý vítr. Možné varianty základů jsou na Obr. 4. [10]



Obr. 4: Příklady možných typů základů, či spíše zakotvení VE u mořských instalací [11]



6.5 VÝKON

Chceme-li si danou elektrárnu určitým způsobem charakterizovat, nejlepším parametrem je její výkon, ten si můžeme jednoduchým způsobem orientačně spočítat z následujícího vztahu:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3 \cdot c_p \cdot S$$

kde P ... výkon větrné elektrárny [W]
 ρ ... hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$]
 v ... rychlost proudění [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 c_p ... účinnost stroje [–]
 S ... plocha rotoru [m^2]

Ze vztahu vyplývá, že výkon je závislý především na třetí mocnině rychlosti proudění větru a také na druhé mocnině průměru rotoru ($S = \pi \cdot d^2 / 4$). [10]

6.6 VÝKUPNÍ CENY

Vývoj výkupních cen elektřiny větrných elektráren je v Tab. 1:

Rok	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Výkupní cena CZK/MWh	2600	2460	2460	2460	2340	2230	2230

Tab. 1: Výkupní ceny elektřiny větrných elektráren [11]

Je patrné, že v ČR není větrná energetika tak podporována, jako ostatní obnovitelné zdroje energie. Rozdíl je patrný ve srovnání se sluneční energií, kde výkupní cena je 5500 Kč/MW·h.

6.7 BUDOUCNOST

V současné době je záměrem stavět čím dál větší elektrárny s větším průměrem rotoru a vyšším stožárem. Je to pochopitelné, protože stavbou větších elektráren se docílí větších výkonů, a tím i lepšího využití potenciálu v dané lokalitě. Před 20 lety se instalovaly větrné elektrárny s výkonem 250 kW, před deseti lety byli výkony v řádově v MW a v roce 2007 se postavil první 6 MW prototyp, který měl průměr rotoru 126 m. Do budoucna jsou v plánu 10 MW elektrárny s průměrem rotoru 145-150 m. Dokonce se v tzv. UpWind projektu zjistilo, že je možné v budoucnu vyrobit VE o výkonu 20 MW a průměru rotoru 200 m. Evropská větrná asociace EWEA předpovídá, že do roku 2030 by měla větrná energie zahrnovat 26-34 % celkové poptávky po elektrické energii. [10], [18]

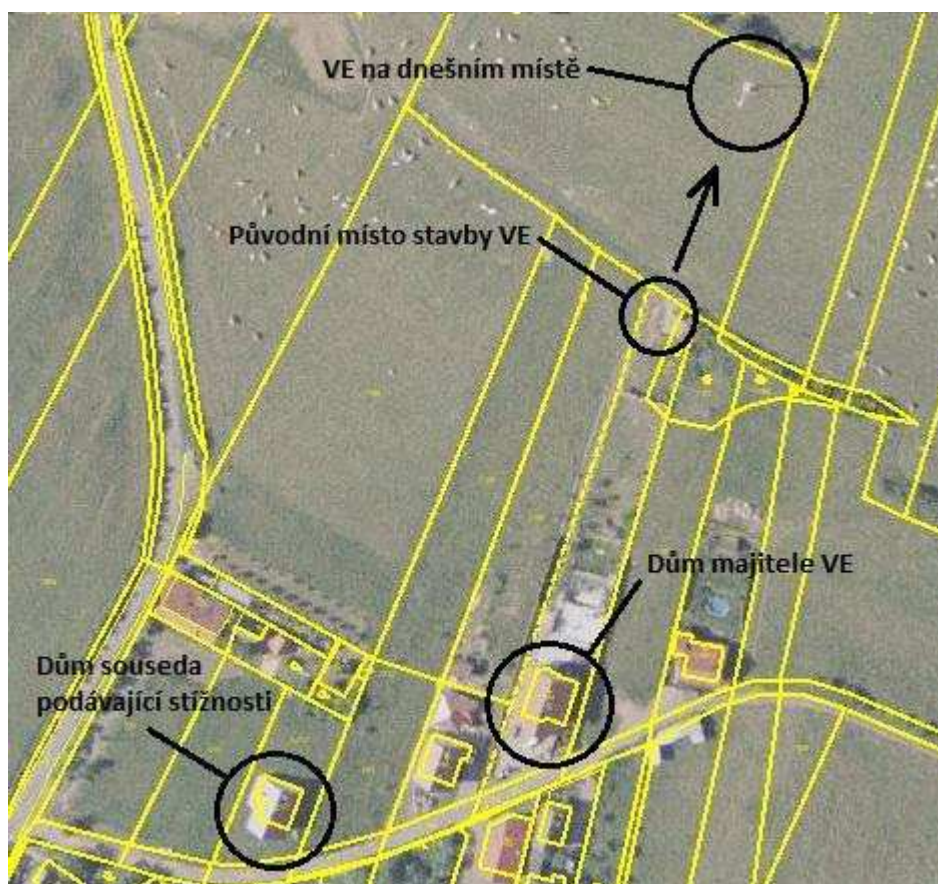
7 VĚTRNÁ ELEKTRÁRNA V HORNÍCH LOUČKÁCH

Asi 30 km severozápadně od Brna, v obci Horní Loučky, na podzim roku 2008 postavil podnikatel Petr Slezák malou větrnou elektrárnu. Jeho dům stojí na svahu kopce a elektrárnu postavil 50 m nad svým domem.

7.1 POVOLENÍ, JEDNÁNÍ A STAVBA

Stavba elektrárny byla plánována koncem roku 2004, avšak postavit se ji podařilo až v září roku 2008. Prodleva téměř 4 let měla své důvody, proto bych se rád v následující části zmínil o tom, co může zastihnout i jiné podnikatele s tímto druhem obnovitelné energie.

Problémem nebyl nedostatek finančních prostředků, či schválení na úřadech, ale ten, že sousedé si tuto stavbu nepřáli. Na Obr. 5 jsou vidět parcely jednotlivých pozemků.



Obr. 5: Ortofotografie pozemků pod VE se žlutě vyznačenou katastrální mapou. Měřítko 1:2000 [13]

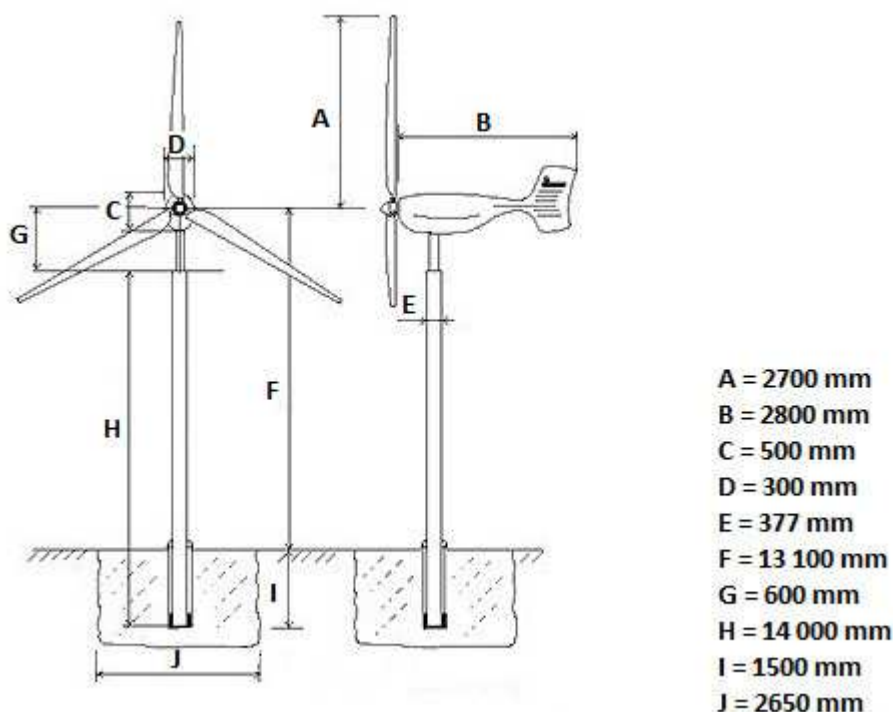
Nejprve svou stavbu plánoval v horní části svého pozemku. Všechna povolení a vyjádření od úřadů obdržel bez problémů, ale naneštěstí se proti této stavbě ohradil jeden ze sousedů, který na začátku roku 2004 dokončil stavbu rodinného domku. I přes doložené vyhovující zkoušky hlučnosti a vyjádření městského úřadu, odboru životního prostředí, který stavbu povolil, nenabylo stavební povolení právní moci. Důvodem byly různé vymyšlené skutečnosti, které soused neustále podával k projednání, a tím se stavba odsouvala. Naděje na vyřešení sporu se objevila po domluvě se sousedem, který by nezpůsobil další odsuny stavby, pokud by se elektrárna vybudovala o několik metrů výše, kde ovšem nebyl sousedem

předpokládán odkup pozemku. V září roku 2008 byl pozemek odkoupen, větrná elektrárna firmou dovezena a postavena, avšak slib souseda dodržen nebyl.

Neustále soused podává oznámení a stížnosti. Větrná elektrárna splňuje všechny hlukové zkoušky jak ve dne, tak i v noci s velkou rezervou. V noci je hranice samozřejmě přísnější, a proto se měření provádí hlavně v noci při dostatečném větru. Tato elektrárna dosahuje maximální hlučnosti 36–38 dB při denním provozu, kdy je vítr silnější než v noci. V noci je limit 40 dB. Stavební povolení však stále nenabýlo právní moci a elektrárna pracuje v tzv. zkušebním režimu už přes 2 roky. Důvodem je, že se stále nepodařilo uskutečnit po právní stránce korektní měření v noci, i když mnohem přísnějším nočním limitům, kdy je vítr slabší, vyhovuje i korektní měření ve dne. Úřad tedy nemůže stavbu povolit, a tak je každý rok udělováno nové povolení ke zkušebnímu provozu. Díky všem těmto okolnostem, vyřizováním, jednáním a také zvýšení sazby DPH se cena elektrárny podle odhadu majitele vyšplhala z 200 000 korun na 500 000 korun.

7.2 POUŽITÝ TYP WINDTOWER WT10P

Elektrárna byla koupena od firmy WINDTOWER spol. s r.o. Tato firma, která sídlila na ulici Křížíkově v Brně, již bohužel neexistuje. Na Obr. 6 jsou základní rozměry větrné elektrárny. Sama stavba a uvedení do provozu při již vybetonovaném základu nezabere více než několik hodin.



Obr. 6: Základní rozměry VE typu Windtower WT10P [15]



PARAMETRY

Rotor

Průměr: 5400 mm

Počet listů: 3

Typ brzdy: elektromagnetická, ovládání elektronické

Regulace: Pitch atabas

Otáčky: 200 ot/min

Materiál: GRP

Hlučnost: 38 dB v pásmu 10 m

Generátor

Typ: Asynchronní

Provozní účinník: 0,95 ind – 1

Otáčky: 1000 ot/min

Napětí: 400 V

Regulace: Mikroprocesorem

Připojení k síti: Tyristory

Jmenovitý výkon: 10 kW

Frekvence: 50 Hz

Převodovka

Typ: Planetová

Stožár

Průměr trubkové věže: 429 mm

Jednodílný

Výška: 12 m (v základu 2 m)

Základ

2650 x 1900 x 2000 mm

vložena trubka na vsunutí stožáru

Charakteristika

Zapojovací rychlost větru: 3,5 m/s

Vypínací rychlost větru 20 m/s

Hmotnost

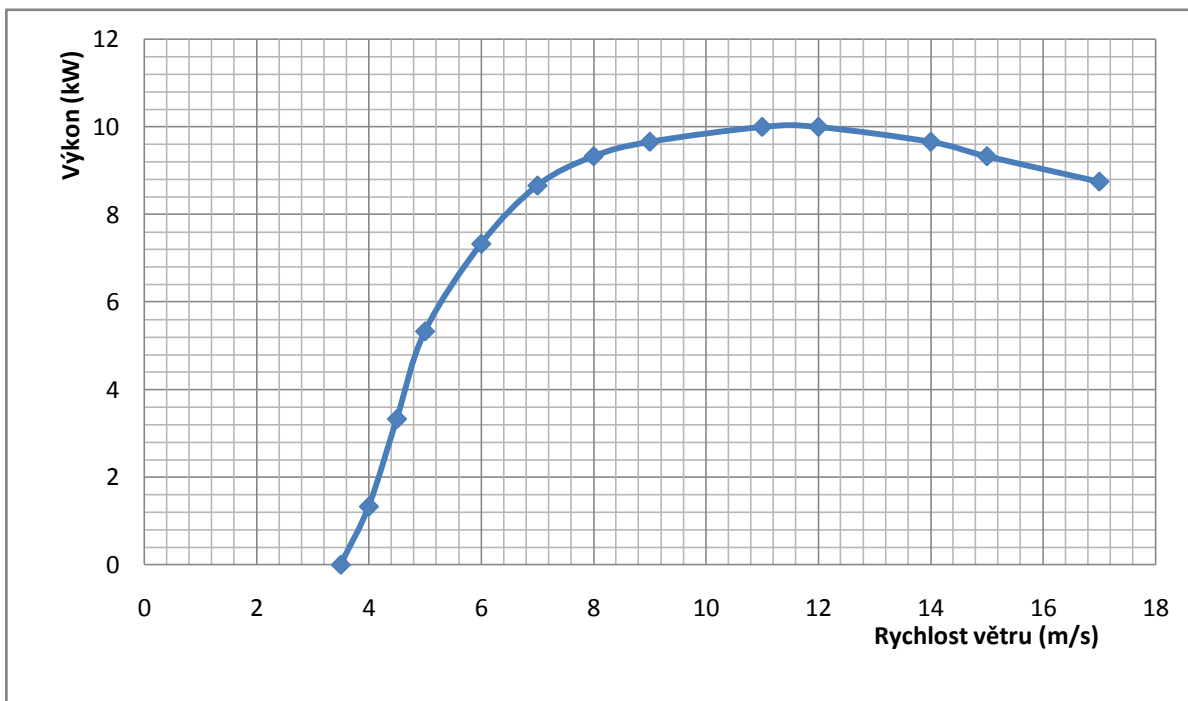
Gondola: 400 kg

Stožár: 1400 kg

Životnost: 20 let.

Vliv rychlosti větru na výkon

Závislosti rychlosti větru na výkonu elektrárny je vidět na Grafu 9. Z něj je patrné, že daný typ pracuje na svůj maximální výkon 10 kW při rychlosti větru 11 až 12 m.s⁻¹. [15]



Graf. 9: Křivka závislosti rychlosti větru na výkonu elektrárny [16]

7.3 PROVOZ A NÁVRATNOST INVESTIC

Elektrárna majiteli slouží výhradně na pokrytí vlastní spotřeby elektrické energie ve velkém rodinném domě. V případě nadbytku ji dodává do distribuční sítě. Dům obsahuje elektrické vytápění místností a některých podlah. Elektřina je také využita na ohřev užitkové vody a ohřev bazénu. Z údajů obdržených od majitele elektrárny, můžeme spočítat celkový výkon za rok, zisk za rok a návratnost počátečních investic i celkový zisk do uplynutí životnosti elektrárny.

Majitel udává tyto informace:

- Celková účinnost elektrárny během celého roku je 20 %, $\mu = 0,2$ (mezi tuto účinnost jsou započítány i dny, kdy elektrárna nepracuje nebo pracuje s nižším výkonem např. v noci),
- průměrně 95 % elektrické energie je určeno pro vlastní spotřebu, 5 % je dodáváno do distribuční sítě za výkupní cenu 2,70 Kč za kW·h.

Z účinnosti lze vypočítat množství elektrické energie, kterou elektrárna za rok vyrobí:

$$\mu \cdot 365 \text{ dní} \cdot 24 \text{ hod} \cdot \text{výkon} = 0,2 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 10 = \underline{17520 \text{ kW} \cdot \text{h/rok}}$$



Víme, že majitel spotřebuje 95 % a prodá 5 % vyrobené elektrické energie. Cena elektřiny je 4,54 Kč za kW·h a výkupní cena je 2,70 Kč za kW·h. Můžeme si tedy spočítat, kolik majitel ušetří za rok, když elektřinu nekupuje, ale vyrábí pro vlastní spotřebu:

$$0,95 \cdot 17520 \cdot 4,54 = \underline{75\,563,76 \text{ Kč/rok}}$$

Zisk z prodeje nevyužité elektřiny:

$$0,05 \cdot 17520 \cdot 2,70 = \underline{2\,365,2 \text{ Kč/rok}}$$

Celkový zisk za rok zahrnující ušetřené peníze za spotřebu své vlastní vyrobené elektřiny a za prodej do distribuční sítě:

$$75\,563,76 + 2\,365,2 = \underline{77\,928,96 \text{ Kč/rok}}$$

Návratnost

1. Teoretická návratnost elektrárny, která vyrábí většinu elektrické energie pro vlastní spotřebu majitele, je při počáteční investici 200 000 Kč:

$$200\,000 / 77\,928,96 = \underline{2,57 \text{ let}}$$

2. Díky odkladům a problémům se cena investice vyšplhala na 500 000 Kč a tím i konečná teoretická návratnost stoupla:

$$500\,000 / 77\,928,96 = \underline{6,42 \text{ let}}$$

Teoretický zisk od splacení elektrárny do její garantované životnosti (20 let):

$$\text{V 1. případě: } (20 - 2,57) \cdot 77\,928,96 = 1\,358\,301,05 \text{ Kč}$$

$$\text{Ve 2. případě: } (20 - 6,42) \cdot 77\,928,96 = 1\,058\,275,28 \text{ Kč}$$

Kdyby majitel vyrobenou elektřinu pouze prodával do distribuční sítě, zisk za rok by byl:

$$1,00 \cdot 17520 \cdot 2,70 = 47\,304 \text{ Kč/rok}$$

Návratnost počátečních investic by při 200 000 Kč byla:

$$200\,000 / 47\,304 = 4,23 \text{ let}$$

a při 500 000 Kč:

$$500\,000 / 47\,304 = 10,57 \text{ let}$$

Majitel by však musel elektřinu pro svůj dům kupovat zpět za cenu 75 563,76 Kč/rok.

Z výpočtů je patrné, že se v tomto konkrétním podnikatelském záměru se jednoznačně vyplatí elektřinu vyrobit a spotřebovat, než ji prodávat. Je to dáno tím, že výkupní cena je dvojnásobně nižší než cena nákupní ze sítě.

Fotka zkoumané větrné elektrárny v Horních Loučkách je na Obr. 7.



Obr. 7: Zkoumaná elektrárna je zastavena kvůli menší opravě

ZÁVĚR

Je spousta způsobů, jak bychom mohli vyrábět tzv. „čistou“ energii z obnovitelných zdrojů energie. Je však na nás, abychom posoudili, pro jakou lokalitu je vhodný právě tento zdroj.

Bakalářská práce se zabývá popisem OZE a jejich využití v ČR. Zaměřuje se na energii vody, biomasy, slunce, větru, také se zmiňuje o energii z bioplynu a využití tepelných čerpadel.

Energie vody má v ČR největší podíl na výrobě elektřiny z OZE. Budoucnost tohoto zdroje spočívá ve výstavbě a hlavně v rekonstrukci již postavených MVE. S velkým nárůstem fotovoltaiky stoupá důležitost výroby energie z vody, protože lze očekávat, že sluneční elektrárny, které nejsou schopny regulovat svůj výkon, způsobí velké rozdíly v energetické bilanci elektrizační soustavy a jedině vodní elektrárny jsou schopny účinně vzniklé rozdíly částečně zredukovat.

Obrovský nárůst výstavby slunečních elektráren byl vládou zastaven na konci roku 2010. Příčinnou výstavby byl výhodný podnikatelský záměr. Plán podílu OZE na výrobu elektrické energie byl tímto zdrojem splněn, ale v budoucnu jsou očekávány problémy s proměnlivým výkonem.

Biomasa zaznamenává velký nárůst. Velké energetické společnosti skupují lesy a budují elektrárny na spalování biopaliv.

Nezanedbatelný podíl na výrobě elektřiny mají i bioplynové zařízení. Rozvoj a nárůst je však už jen u bioplynových stanic.

Tepelná čerpadla nejsou určena pro výrobu elektrické energie, ale naopak tuto energii mírně spotřebovávají pro lepší využití tepla okolí na vytápění vnitřních prostor. Jejich počet stále stoupá, ale je důležité vědět, že jsou výhodná jen tehdy, jestliže je např. rodinný dům zateplen.

V hlavní části práce je podrobněji studována problematika výroby elektrické energie z větrných elektráren. Zpracována je historie větrné energetiky, rozdělení a konstrukce VE, její podpora v podobě výkupních cen a pohled na vývoj do budoucna.

Na závěr práce je popsána malá VE v lokalitě obce Horní Loučky. Tato elektrárna je dobrým příkladem vhodného využití obnovitelných zdrojů energie. Obdivuhodné je, jak energeticky náročný dům, přizpůsobený na spotřebu výhradně elektrické energie, lze snadno zásobit elektřinou z větrné elektrárny. K zamyšlení je i informace, že s postavenou malou větrnou elektrárnou se nevyplatí prodej elektřiny v tak velké míře, jako při spotřebě pro vlastní využití. Avšak ne všechny lokality mají dostatečné podmínky na stavbu VE, jako jsou zde.

Do budoucna je nutné nahrazovat neobnovitelné zdroje energie těmi obnovitelnými nejen z důvodu nedostatku uhlí nebo ropy, ale také proto, že příroda je pro nás tou nejdůležitější součástí života a její zničení by znamenalo konec i pro nás.



SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MOTLÍK, Ing. Jan, et al. *Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice*. Praha: ČEZ, 2003. 143 s.
- [2] KOLEKTIV AUTORŮ. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: FCC PUBLIC, 2001. 208 s.
- [3] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. *Zpráva o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie za rok 2009*. [online]. 2. 12. 2010 [cit. 2011-03-11]. Dostupné na WWW: <<http://www.mpo.cz/dokument25358.html>>
- [4] Skupina ČEZ. *Elektrárny ČEZ spalující biomasu* [online]. 2011 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/obnovitelne-zdroje/biomasa/elektrarny-cez-spalujici-biomasu.html>>
- [5] Energetický regulační úřad. *Instalovaný výkon v ES ČR (k 31. 12. 2010)* [online]. 2011 [cit. 2011-02-05]. Dostupné z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/mesicni_zpravy/2010/prosinec/page50.htm>
- [6] BUFKA, Aleš, BECHNÍK, Bronislav. *Přehled rozvoje obnovitelných zdrojů energie. Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 8. 3. 2010 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/energeticka-politika/6296-prehled-rozvoje-obnovitelnych-zdroju-energie>>
- [7] Novinky.cz. *Minulý rok v Česku čtyřnásobně stoupl výkon solárních elektráren* [online]. 1. 2. 2011 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.novinky.cz/ekonomika/223938-minuly-rok-v-cesku-ctyrnasobne-stoupl-vykon-solarnich-elektren.html>>
- [8] BECHNÍK, Bronislav. *Obnovitelné zdroje: cíl 8% v roce 2010 bude splněn. Stavebnictví, úspory energií, technická zařízení budov* [online]. 15. 11. 2010 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/6931-obnovitelne-zdroje-cil-8-v-roce-2010-bude-splnen>>
- [9] Energetický regulační úřad. *Informace o výrobě elektřiny ze solárních zdrojů*. [online]. 2009, 18. 3. 2011 [cit. 2011-03-19]. Dostupné z WWW: <<http://www.eru.cz/>>
- [10] Česká společnost pro větrnou energii. *Vzdělávání*. [online]. 2011 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/kategorie/vzdelavani/13>>
- [11] Česká společnost pro větrnou energii. *Vývoj výkupních cen větrné energie a ostatních obnovitelných zdrojů*. [online]. 2011 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/clanky/graf-vyvoje-vykupnich-cen/278>>



- [12] Česká společnost pro větrnou energii. *Větrná mapa* [online]. 2011 [cit. 2011-02-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/clanky/vetrna-mapa/35>>
- [13] Český úřad zeměměřičský a katastrální. *Katastr nemovitostí* [online]. Praha 2011 [cit. 2011-3-18] Dostupné z WWW: <<http://sgi.nahlizenidokn.cuzk.cz/marushka/default.aspx?themeid=3&&MarQueryId=2EDA9E08&MarQParam0=218378703&MarQParamCount=1&MarWindowName=Marushka>>
- [14] Česká agentura pro obnovitelné zdroje energie. *Větrná energie*. [online]. 2009 [cit. 2011-03-11]. Dostupné z WWW: <<http://www.czrea.org/cs/druhy-oze/vetrna-energie>>
- [15] Ekosolár. *Veterné elektrárne sieťové*. [online]. 2011 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.ekosolar.sk/elektrarne/sietove/wt10p/>>
- [16] Windtower. Windtower WT10P. [online]. 2011 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.windpower.com.tw/wt10p.htm>>
- [17] Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR. *Tepelná čerpadla v roce 2009*. [online]. 17. 8. 2010 [cit. 2011-03-04]. Dostupné z WWW: <<http://www.mpo.cz/dokument77774.html>>
- [18] Česká společnost pro větrnou energii. *Větrné turbíny o výkonu 20 megawattů jsou reálné*. [online]. 16. 03. 2011 [cit. 2011-03-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.csve.cz/cz/vetrne-turbiny-o-vykonu-20-megawattu-jsou-realne-n/149>>
- [19] Energetický regulační úřad. *Balance elektřiny ES ČR za leden až prosinec 2010* [online]. 2011 [cit. 2011-02-05]. Dostupné z WWW: <http://www.eru.cz/user_data/files/statistika_elektro/mesicni_zpravy/2010/prosinec/page10.htm>



Seznam použitých zkratek a symbolů

EU	Evropská unie
ČOV	Čistička odpadních vod
ČR	Česká republika
MVE	Malá vodní elektrárna
OZE	Obnovitelné zdroje energie
VE	Větrná elektrárna
VVE	Velká vodní elektrárna

Seznam použitých veličin

P	[W]	výkon větrné elektrárny
ρ	[kg.m ⁻³]	hustota vzduchu
V	[m.s ⁻¹]	rychlost proudění
c_p	[-]	účinnost stroje
S	[m ²]	plocha rotoru
μ	[-]	účinnost